



TITLE:

天文學界最近の研究

AUTHOR(S):

荒木, 俊馬

CITATION:

荒木, 俊馬. 天文學界最近の研究. 天界 1926, 6(62): 133-141

ISSUE DATE:

1926-02-25

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/160508>

RIGHT:

天文學界最近の研究 (荒木俊馬編)

◎太陽コロナの理論

太陽コロナの問題は、現今の天體物現學に於て最も大きな問題であつて其の物理學的状態は今日未だ決定して居ない。毎年日蝕觀測の主なる問題は此のコロナの問題と言つてもよい。近頃 Dorpat (Estonia) の W. Anderson はコロナに關する理論に關して長い研究を發表して居るが、コロナが如何なる性質なるかを知るに甚だ便利であるから以下概要を紹介しやう。(Zeitschrift für Physik Bd 33 (1925) pp 273—301, Bd, 34 (1925) pp 453—473)

著者は前に太陽のコロナは決して固體或は液體の粒子から出來て居る事は不可能で瓦斯體でなければならぬと言ふ事を證明した(同雜誌 Bd 28 (1924) 299—324)。勿論此の法則は太陽の表面から餘り遠からぬ距離例へば太陽の半徑よりも近い距離に就いて證明せられたのであるが、然し遠い距離に於てもやはりコロナは瓦斯體であるらしい。即ち太陽の近く即ち太陽の半徑位の距離以内こそその外側まで、コロナの物理學的の狀態が違つて居ることを考へる何等の理由もないからである。

太陽の表面に於ては一般に軽い瓦斯は重い瓦斯よりも高い層に於て見られる勿論此の事には例外は無いではないが、然し大體として全體から見ればそうである。電子瓦斯(Elektronengas)は他の如何なる瓦斯よりも軽いが故に、太陽零圍氣の最も外側の層即ちコロナは主として此の電子瓦斯から出來て居るであらう。此の考へは所謂電子瓦斯説と呼ばれるもので Schwarzschild の考へでは、非常に面白い説であり、色々なコロナの現象、例へばコロナの偏白色光や其の連續スペクトルなどを良く説明する事が出来るけれども次のやうな缺點がある。即ち Schwarzschild の考へでは、觀測が與えるやうなコロナの光度を得る爲には、太陽上空に一平方糎毎に 10^{18} 個の電子が存在せねばならない事になり、その有する負の電氣量は莫大なもので、従つて此れを相消合ふだけの太陽に在る陽電氣で作る電場の強さを計算して見るに、コロナは到底あんな大きな廣がりを持つる事は出来ない事になるのである。

勿論此の Schwarzschild の證明は、其の證明の前提として入つて來る Coulomb の定律が非常に大きな距離に於て妥當性を有するか否か、又 Dielektrik の常數の平均値があまり大きなものではないと言ふ事を吟味した上でなければ嚴密な證明であるか否かを速斷する事は出来ないけれども兎に角電子瓦斯説の非常に重大な難點を指すものと言へる。けれども今日行はれて居る他のコロナの説にも同じやうな大きな缺點があるのである。

以下コロナに關する諸説を吟味するのであるが、先づ著者は其の議論に必要

な常数を研究して居るが其のうち重要なものをあげれば、

太陽の質量…………… $M = 1.99 \times 10^{33}$ 瓦

太陽光球の半径…………… $r_0 = 6.9507952 \times 10^{10}$ 糎

太陽常数……………1.9395 カロリー 毎分 毎平方糎

太陽の有効温度…………… $T_0 = 5737$ 絶対温度。

尙ほコロナに関しては次の二つの結論を得て居る。

(1) 太陽面からの距離が太陽の半径以内にあるコロナの各部分がコロナ自身が輻射するエネルギーを補ふ爲めに太陽面の毎平方糎から受けこるエネルギーは毎秒 5×10^4 エルグ以上でなくてはならぬ。

(2) コロナのある近所で太陽の重力の半分以上が輻射壓によつて打消されて居るごすれば、光球表面から太陽半径位までの距離にあるコロナの質量は 10^{15} 瓦よりも少くなければならぬ。

光の分散の説 (Hypothese der diffusen Lichtzerstreuung)

Fabry の説に依れば、コロナの連続スペクトルは、太陽光球から出た光がコロナの瓦斯によつて分散 (diffuse Zerstreuung) される爲であるご言ふ。従つて空のスペクトルが連続的である事を説明した有名な Rayleigh 卿の理論ご同じ理である。然しながら空の光を分光器で観測するご Fraunhofer 線は非常に細くはつきりご出て居る。然るにコロナの場合はそうでない。コロナの極く外側の部分では Fraunhofer 線は有るには有るが弱いし、内部に行くに従つて次第に消え内部コロナに在つては白熱せる物體の出す色ご同じやうな連続光を出すのである。

又 Fabry の説に對する難點は Pringsheim 及 Mitchell に依つて指摘された即ち若しコロナの光が瓦斯分子による分散に基因するものであるならば、丁度空の場合ご同じ様に青い光を出さねばならぬのであるが、實際は白い色を出す。これに對して Fabry は、それはコロナの光が非常に弱いご爲めに其の色を認める事が出来ないごめだご言つて居るが、然しコロナの光は實際色を認める事が出来ない程微弱なものではないのである。1605年八月三十日の日食の場合に於ける Becker の観測に依れば、コロナの光は太陽表面から $3'54''$ 離れた場所で満月の場合の月面 Grimaldi 地方の表面光度に等しい。故に決してその色を認むる事が出来ないやうに弱い光ではない。

Fabry はコロナのスペクトルに Fraunhofer 線が消えて居るご言ふ事を説明するのに、それはコロナ瓦斯の分子の運動が非常に急速な爲めに Doppler の効果によつて線が擴がつて仕舞ふのだご説明し、その爲めには水素よりも幾分軽い瓦斯であれば3000度位の温度で充分だご言つて居る。然し此の議論も著者の考へでは成立しない様に思はれる。スペクトル線はコロナ瓦斯に依つて擴げられないまでも既に光球から來る光が色圈や反彩層を通過する時そこにある水

素瓦斯に吸収される際に擴けられて居るのである。而もこの場所に於ける水素の温度は5000度もあらうと考へられるしその分子の速度は勿論大であらう。故にコロナを通る場合に再び擴けられたにしてもその廣さが更に二倍とはなるまいと考へられる。二倍ひろけられた位では決して Fraunhofer 線は見えないやうにはならない。のみならず水素よりも幾分軽い瓦斯の存在は今日の科學の見地から見て到底許されない事である。即ち元素の週期率に於て、かゝる元素の地位はないのである。

其他前に言つたやうにコロナでは、重力の半分位輻射壓と釣合つて居るならば、コロナの出す光の大部分は光の分散に依つて説明する事が出来ないのである。即ち Fabry の計算によれば普通の條件にある空氣の16立方メートルの球を太陽から地球の距離だけ離れた所に置きこれを直角の方向から見ると、太陽からの光を分散する事によつて、この空氣の球は一燭光の光を放つ。この計算の結果を用ひ、コロナが空氣から出來て居るとし、前に得たコロナの質量 10^{15} 瓦を用ひて計算するとコロナの光は全體で地球から見て 1.1497×10^{-7} 燭光米にしかならない。然るに1922年九月二十一日の皆既日食の場合の Brigg による觀測によれば、地球の大氣の影響を補正して 0.61 燭光米であつた。即ち、Fabry の理論による計算値の五百萬倍の光である。而も前述日食の場のコロナの光は決して特に強かつたと言ふわけではない。上の計算では假りにコロナが空氣から成るものとしたが、コロナが水素分子から成る瓦斯としても又水素原子からなる瓦斯としてもその値は幾分變るが、やはり空氣の場合と同じ程度のもので、實際の光は理論の何十萬倍と言ふ程度になり、従つてファブリの理論ではコロナの光を説明する事は出来ないやうである。

螢光輻射の説 (Hypothese der Fluoreszenzstrahlung)

E. Wiedemann 及 G. C. Schmidt は強烈な光でナトリウムやカルシウムの蒸氣を照らすと螢光を發する事を發見し、コロナの光はこれと同じ理によつて説明されるものと信じた。一般に螢光のスペクトルは連續スペクトルと帶スペクトル及線スペクトルからなるが、色々な金屬の蒸氣の發する螢光では帶スペクトルは相かさなつて連續スペクトルと結び付いて仕舞ふ。この理でコロナの發する連續スペクトル及線スペクトルが説明せられると考へた。

又 R. W. Wood は螢光スペクトルに關して多くの研究を發表して居るが、螢光の一部分は偏光して居ると言ふ事を發見した。而もコロナの光も又一部分偏光して居るのである。かくして Wood はコロナの光は色々な金屬蒸氣が發する螢光であり、コロナのスペクトルに現れて居るコロナ線及其他の輝線は何が既知元素の螢光線と見る事が出来るかと考へた。のみならず Lockyer の觀測は此の説に都合がよい。即ち Lockyer の1882の觀測では、コロナの連續スペクトルは極大極少があり、一見格子縞に見え丁度帶スペクトルの觀がある

と言つて居るが、Wood はこれこそ、てつきり金屬蒸螢光スペクトル特有のものだと注意して居る。其後1914年八月二十一日の皆既日食の場合に A. L. Cortie 師は五つの帯を確めたと言つて居るけれども、著者の考へではどうも眞物の帯ではないらしい。W. W. Campbell 及 T. H. Moore の考へでは、コロナの線は少くとも二回見られなくては確かだとは言へないと言つて居るし、實際これ等の研究者が1893年から1918年までのすべての観測から出した總ての線からしらべて見ると、Cortie の五つの帯は實際眞の帯とは考へられないやうである。又1914年八月21日の日食の場合、瑞典でなした J. Bosler 及 H. G. Block の観測の結果は、連續スペクトルの有様は螢光説に都合がよくない。扨て、コロナのスペクトルの中に存在し得るか否かを理論的に研究して見る。一般に線スペクトルは原子から出で、帯スペクトルは分子から出る言ふ事は今日の定説である。故に若しコロナのスペクトルに帯スペクトルが出るならば即ちコロナの瓦斯の可成の部分は分子から成り立つて居なければならないと言ふ事になる。然るに M. N. Saha の理論を應用すると、水素に就ては、3000度の温度で1氣壓の場合には46%が原子にわかれて居り、0.1 氣壓の場合には85% 0.01氣壓の場合には98.5% が原子にわかれて居る筈である。其の他の元素に就ても同様な理論で之を論ずる事が出来る。然るに H. N. Russell 及 J. Q. Stewart の研究に依れば色圈の底に於て其の壓力は 10^{-7} 氣壓。故にコロナに於ては更に小さくなくてはならない。St. John 及 H. D. Babcock の研究によれば光球から14000 軒の距離、即ちコロナの底あたりに於ける壓力は 10^{-13} 氣壓の程度である。従つてコロナに於てはほこんどすべての瓦斯が原子にわかれてしまつて居るを考へてよい。著者は此の事に關して詳しい計算をほどこして居るが、結局、コロナの理論としては、螢光説は都合の悪い所が多いのである。

微粒子放射説 (Hypothese des Bombardements der Korona durch Korpuskularstrahlen radioactiven Ursprungs):

R. Emden はコロナの光は太陽から放射される α 粒子或は β 粒子に基くものかも知れないと考へた。又 Deslandres も放射能物質からの粒子輻射は太陽雰囲氣の光に少くとも一部分あづかつて居ると考へた。けれども色々な實驗的結果から見て、太陽表面の放射能が地殻の場合よりも大であるとは考へられない。然し或る學者たちが考へて居るやうに、太陽の表面に於ては、吾々が未だ知らない放射過程が行はれて居るかも知れないし、又太陽の内部から非常に大きな貫通能力をもつて太陽表面外まで走り出る微粒子があるかも知れない。かくの如き微粒子の放射が、コロナの光に少くとも一部分、その原因となる事はあり得ないだらうか。

太陽から出る輻射エネルギーの總量は毎秒約 3.8×10^{33} エルグである。これだけのエネルギーをおぎなう爲めに太陽の内部には絶へずエネルギーが何等かの源泉によつて發生せねばならぬ。故に太陽の内部に於て毎秒發生せられるエネルギーは單位質量に就いては、 $3.8 \times 10^{33} \div M = 1.9$ エルグ秒である。所で太陽の内部に於て放射能物質が微粒子を放射するならば、其の微粒子の運動のエネルギーが物質に吸収せられて熱となるわけである。太陽内部に於けるエネルギーの源泉が皆かくの如きものからなることをするならば、太陽の物質の單位質量は毎秒1.9づゝ吸収するはすである。勿論エネルギーの生成は太陽内の到る所均一ではない。中心部に近きほど大きいから、中心部では1.9エルグよりも大であり、外側では1.9よりも小なる事は言ふまでもない。扨て、太陽半徑だけの距離以内のコロナの質量は 10^{15} グラムよりも小さい。故にコロナの質量が毎秒太陽からの微粒子によつて吸収する熱量は 1.9×10^{15} エルグよりも小さい。然るに實際は、前に計算したやうに、太陽表面の單位面積からコロナが受け取るエネルギーは 5.10^4 エルグ以上であるから、コロナが太陽から受取るエネルギーの全量は、上の數字に太陽の面積を乗じて毎秒 3×10^{27} エルグである。即ち微粒子によつて受け取るエネルギーの 1.5×10^{12} 倍も大きいのである。此の缺點をのがれる爲めに例へば強烈な放射現象が主として太陽の表面近くに起ることをするならば、太陽表面に於ける放射能は、純粹なラヂウムの三萬倍にもならずなくてはならぬし、又放射物質が百分の一含まれて居ることをするならばラヂウムの三百萬倍の放射能を有せねばならぬ勘定になるので、太陽表面に於ける物質、而も瓦斯體にかゝる性質をもたせることは全く不可能である。此の説の難點は茲に存在する。

光電子説 (Photoelectrische Hypothese) :—

Mitchell の考へに依れば、コロナの現象は光電効果をあらわすものである。太陽光球に於ける6000度の高温及非常に低い壓力は電子の放射に都合好からしめる。更に太陽の表面には一般的に磁氣の場が存在するから、此の事もあづかつて力があるものである。高温度に於ける輻射線は一般に非常に波長の短かなもので、X線に類似したものと考へられる。(勿論6000度位の温度に於て果して然るかは疑問であるが)。此の短波長の輻射に依る光電効果に依つて、太陽からは多量の電子が飛び出すに違ひない。そして此の電子がコロナ瓦斯にぶつつかつて、光を發する事によつてコロナの光を説明しやうと言ふのである。而も太陽黒點の近所では磁氣の場は最も強烈であるから、その附近で飛び出す電子のエネルギーは最も大きい。勿論 Mitchell の考へでは、かくの如き電子の砲撃によるコロナの發光は、コロナの光の極く少部分であつて、大部分は太陽の光がコロナの原子によつて分散される事及太陽からの光によつてコロナ原子を電離しその爲めの光を出す事によるものと考へたのであるが、然し此の兩者は前

に述べた光の分散説と異なる所がないから、今茲では光電効果に依るコロナの光に就いて考へて見やう。

輻射の法則其他の法則を應用して波長が0から $0.05\lambda'$ （茲に λ' は輻射エネルギー極大の波長）までの輻射エネルギーの全輻射エネルギーに對する比 ω を計算して著者は、これが 1.2×10^{-37} よりも少なくてはならぬ事を緒論した。

然るに前に述べたやうに太陽からの輻射エネルギーは毎秒平方糎毎に 7.5×10^{10} エルグである。然るに又光球に於ける温度を6000度とするならば $0.05\lambda' = 240\text{\AA}$ （ \AA はオングストローム單位）故に $\lambda = 0$ から $\lambda = 240\text{\AA}$ まで含まれるエネルギーは毎秒平方糎毎に 9×10^{-27} エルグである。然るにコロナは自分自身が出す光のエネルギーをつぐなふ爲めに毎秒太陽の單位表面から 5×10^4 エルグだけのエネルギーを受けねばならないから、到底 $\lambda = 0$ から $\lambda = 240\text{\AA}$ までの波長の間に含まれて居るエネルギーで説明する事は出来ぬ即ち光電子説では説明出来ぬ事になる。著者は其他吸収に就いて詳しい考察をしてゐるが、結局光電効果はコロナの場合には殆んど言ふに足らない位の効果ほかもたらず事が出来ない。故に光電効果によつてコロナの光を説明しやうとするものは不可能である。

電磁氣説 (Electromagnetische Hypothese) :—

E. Ebert は金屬球に電氣振動を起さしめて、其の金屬球をしてヘルツ波を生ずるに到らしめた。若し此の金屬球が稀薄な瓦斯體の中に在るならば此の金屬球が光で包まれ、而も其のスペクトルはコロナのスペクトルに似て居る言ふ事を發見した。此の瓦斯が水素である場合には、かくして生ずる人工的コロナのスペクトルは連續的である。此の實驗的見地から Ebert はコロナの光は Hertz 輻射に依つて起るものであり、その Hertz 輻射は太陽を構成する物質の電氣振動に依りて起ることを信じた。吾人は前に、コロナは太陽の單位表面から毎秒 5×10^4 エルグのエネルギーを受け取る事を述べた。従つて光球全體からは毎秒 3×10^{27} エルグのエネルギーを受け取る。故に Ebert が考へた電磁氣説に依れば此のエネルギーがコロナのヘルツ輻射のエネルギーになるわけで、従つて此の際の強烈なる電氣振動と莫大なる電位の差とは太陽から生ぜねばならぬ事になる。Ebert の考へに依れば、太陽の電氣振動は一回約6.5秒續く計算になる。此の時間の間に光球は $3 \times 10^{27} \times 6.5 = 1.95 \times 10^{28}$ エルグ以上の Hertz 輻射を送り出さねばならぬ事になるが、太陽に驚くべき電位の差例へば3億ボルトを與へんと思へばそれに要する仕事は 3.5×10^{22} エルグにしかならないから一回の電氣振動の間にヘルツ波として太陽から出るエネルギーの約557000倍も少さく出て來るのである。

然らば、如何にして太陽の強烈に電離した瓦斯體がかくの如き電位の差を生ずる事が出来るのであらうか。それを説明する爲めには、何か吾々に知れない力

があつて週期的に電位の差を引き起したり消したりして、正及負の電氣を振動の度毎に中和せしめるを考へねばならぬが、然しどうしてかくの如き力が太陽に存在し得るか。電磁説も又大なる難點をまねがれることは出来ない。

1923 年九月十日の日食及コロナの性質に関する Ludendorff の意見：—これまでコロナのスペクトルの強度最大部は光球のスペクトルの場合よりも幾分赤の方にずれて居るを考へられて居た。然るに H. Ludendorff は 1923 年九月十日の皆既日食に於て嚴密な研究をした結果、コロナのスペクトルの強度最大部は光球のスペクトルの強度最大部と一致し、尙ほコロナのスペクトルの強度曲線は、検査した波長の範圍に於ては、光球のスペクトルと一致する事を發見した。Ludendorff は此の觀測から結論して、コロナは輝いて居る微粒子から成立つて居る事は到底不可能であるとした。何となれば若しそうであるならばコロナの微粒子の温度は光球のよりも低いとは明らかであるから、コロナのスペクトルの強度最大部は幾分赤の方にずれて居ねばならぬからである。著者によれば此の事實は、同様にして、電磁氣説や微粒子によるコロナ砲撃説にも都合が悪い。

Ludendorff の考へに依れば、コロナ瓦斯は遊離して居る電子から成つて居るもので、此の電子が、光球からの光を其の性質を變ずる事なしに分散するを考へた。所ですつこの論文の始めにのべた Schwarzschild の批難即ちその遊離電子による電場が飛んでもなく巨大にならねばならぬと言ふ難點をさける爲めには、遊離電子の他に陽電氣を有する原子の残りが存在して居ればよいとした。然し、かくの如き電子瓦斯説に對する一つの難點は、コロナのスペクトルに於けるフラウンホーフ線の性質から起るが、Ludendorff は此れに關して次の様な意見を有して居る。コロナの内部に於いてフラウンホーフ線が見えないのは、遊離電子の活躍たる運動によるドツブレ効果によるもので、太陽表面から遠ざかるに従つて、其の温度の下降に依り電子運動は弱くなり漸次フラウンホーフ線が見えて来る。然しこれは餘程太陽表面から離れて來ねばそうでなく、割合高い高さ迄該線は可なりの廣がりをもつて見えねばならぬ。然し Ludendorff は、フラウンホーフ線があらわれて居る所では、その廣さがあまりかわらないし、光球の場合よりもせまいと言ふ事を發見して居る。著者の考へに依れば、此のフラウンホーフ線の廣さと言ふのは眞の廣がりではない。實際スペクトルの吸収線が黒い線として見える爲めには或強さ以上の黒さを要するわけであるから中心部だけを見て居るのである。故にむしろせまくなつて見える。尙コロナは空間的のひろがりをもつて居るのでコロナの或る部分を分光器で見る時には、吾人は色々の高さのフラウンホーフ線を見るわけで、従つて該線の廣さは非常な複雑條件に依るものである。

コロナ物質の有効分子量：—扱て、電子瓦斯の中に於て二つの電子が衝

突する場合には、そこに輻射が起るが、それは電子の運動エネルギーの一部分が輻射エネルギーに變ずる爲めである。此れを電子瓦斯の温度輻射と名づけて置く。所で電子瓦斯壓力が小さければ小さいほど、電子の衝突は少なくなるわけで、従つて温度輻射は小さくなる。故に眞の吸収は壓力が減少するに従つて減少するわけである。然るに電子によつて分散される光の量は電子の數其物に比例し、電子の衝突の數に比例するものではない。故に電子瓦斯の質量吸收係數は壓力の降下に従つて減少するに反して、質量分散係數は不變である。

太陽零圍氣のすつと深い所に在る層では、恐らく輻射平衡が成立して居るであらうが、コロナに在つては、壓力が非常に小さく、従つて質量吸收係數及温度輻射が非常に小さいから、輻射による熱の損失及所得はコロナに在つてはあまり大役をなさぬものと考へねばならない。又熱傳導によるものでも勿論ない。故にコロナに於ては斷熱的變化が起つて居るにちがいない。又他方から考へても、コロナの物質は全く不動に在ることは考へられぬし、そこには多少の對流が行はれて居るにちがいない。かくの如き状態にあるが故にコロナは對流平衡に在り、従つて斷熱的に構成せられて居ることを結論せざるを得ない。

此の見地から著者はコロナ物質の有效分子量を計算して居るが、コロナ物質の平均分子量は $1/1700.7$ よりも小であり、 $1/1873.1$ よりも大でなくてはならぬと言ふ結論に到達した。故に水素とか其他普通の物質からコロナが出來て居ることをするならば、斷熱平衡が行はれて居ないと言ふ事になり、もし斷熱平衡が行はれて居るものならば、コロナの物質には大部分電子瓦斯が混じて居る言ふ事になる。

附記——以上アンダーソンの論の大體を紹介したが、コロナ性質に就ては本日未だ定説がないので必ずしも著者の論法が正しいかどうか、今後の觀測材料や、もつと深く立ち入つた理論的研究によつて、その眞相がわかる時が來るのであらう。

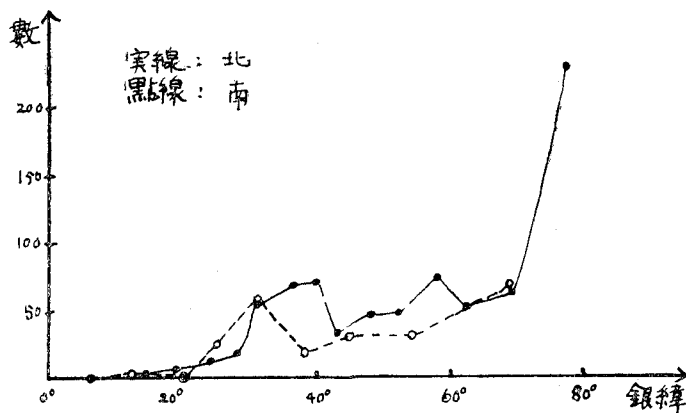
◎星 雲

星雲の分布と數：—F. H. Seares は *Astrophysical Journal* 61, pp. 168—178, (1925) に於て、1909年から1912年の間に、Mt. Wilson Observatory の 60-inch reflector で撮影された星雲の寫眞乾板から得たる Fath の研究を更に吟味して次の結果を得た。

分布：—Nongalactic Nebulae は銀緯の南北 20° 位の邊りから認められる。 30° の邊りで、急にその數を増し、 70° 邊りまでは漸次に増えて行き、銀緯 $N70^\circ$ — $N90^\circ$ の間に群がつて居る。但しこれに相當する南方の $S70^\circ$ — $S90^\circ$ の邊りについては材料が缺けて居る。

銀緯 0° — $S70^\circ$ に於ける表面平均密度(面積 $10' \times 10'$ 毎の星雲の數)は北方の

$\frac{3}{4}$ にあたる。銀緯に沿うての分布は複雑しておるが概して北方の銀緯 50° — 220° に沿ふ一帯に群がつておる。J. H. Reynolds の研究の結果が非常によく合つておるが、Seares の取り扱つた星雲は Reynolds のよりは遙かに小さく、直徑 $30''$ 以下のものばかりである。上記の事を目示してみても尙一層分り易い。數:一矢張り同じ材料から、Seares は Aberrations の影響を考へに入れて、Fath



の計算(162,000)に補正をして、星雲の總數は $N70^\circ$ — $S70^\circ$ の間で 210,000 を得ておる。そして恐らく全天には 300,000 位の星雲があるだらうといつておる。Perrine や Curtis の計算は大分かけはなれて居る様であるが field の相違にあるらしい。

渦狀星雲の形について—1911年に von Pahlen が Astronomische Nachrichten Band 188, 250 に於て M. 33, M. 74 及び M. 51 の研究を發表して、渦狀星雲の或るものは等角螺旋線 ($r = x e^{\text{const} \cdot \Phi}$, ここで x は常數, Φ は位置角) である事をいつておる。更に H. Groot は 1925 年の Monthly Notices vol. 85, 535 に於て、von Pahlen の考へ方から、渦狀星雲の M. 51, H. V. 43, H. I. 199, N. G. C. 4321, H. I. 84, M. 100, M. 65, M. 88 及び M. 81 について研究し殆んど等角螺旋線で表はされるといつて居る。一方 J. H. Reynolds は 1925 年の M. N. 85, 1014 で渦狀星雲の腕が等角螺旋線できまる様な曲線に沿うて居るさういふ風に斷定するにはもつと渦狀星雲の成生から考へ直さなくてはならぬといつておる。そして、これらの星雲の面が天球に大きな角で交らないもの、即ち視線に殆んど直角な面をもつておる様な六つの渦狀星雲について氏の獨特の結果を發表しておる。それによる渦狀星雲の中心の方からいつて、radius vector と tangent との間の角は 50° から 70° 位の間で、腕の方では、 90° から 80° 位の間である。多くの場合、同一の星雲では此の位の範圍であらうこの事である。

(能田忠亮)